

氏名	馬 闌
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	甲 第716号
学位授与の日付	令和1年9月30日
学位授与の要件	信州大学学位規程第5条第1項該当
学位論文題目	磁気スキルミオンバブルを用いた新規デバイスの基礎研究
論文審査委員	主査 教授 劉 小晰 教授 佐藤 敏郎 準教授 柴岩 哲二 準教授 曾根原 誠 教授 桜井 浩 (群馬大学)

論 文 内 容 の 要 旨

情報化社会で情報の保存や処理は急速に発展する現代社会にとって必要不可欠なものであり、世界中から大きな関心を集めている。近年、高速かつ高密度なストレージデバイスや新規な磁気コンピュータデバイスなどに交換結合作用を有する磁性材料においてスキルミオンを用いることによって次世代のコンピュータデバイスの研究と開発が盛んに行われている。スキルミオンは磁気的な渦状構造で良好な安定性を有し、そして高密度化の期待ができ、更に低エネルギー消費量を含むいくつかの特性を有する準粒子状態のスピン構造である。よって、スキルミオンに基づくコンピュータデバイスの研究や開発が現代情報化社会の重要課題である。

本論文はまず、マイクロおよびナノ構造の磁気特性測定用のレーザーマイクロ光学カー効果顕微鏡の設計、実装、および特性評価を述べている。レーザーマイクロ光学カー効果顕微鏡は磁気光学カー効果を利用し、強磁性試料の一部の磁気特性を測定することが期待できる。レーザーマイクロ光学カー効果顕微鏡はストレージデバイスおよびスピントロニクス分野において革新的な材料およびデバイスなどをナノスケールまで材料の磁気特性を予測または測定をできるため、レーザーマイクロ光学カー効果顕微鏡は極めて重要な装置である。また、磁気力顕微鏡(MFM: Magnetic Force Microscopy)から大型放射光施設までのような測定装置の中で、レーザーマイクロ磁気光学カー効果顕微鏡はこれらの装置よりも簡単に磁気特性の測定をすることができる。さらに、レーザーマイクロ磁気光学カー効果顕微鏡は高い分解能を有するため、複雑な構造を有する試料でも非常に速い速度で磁気特性の測定も可能である。我々は作製した試料を顕微鏡対物レンズのすぐ近くで、試料に面内および垂直の外部磁界を印加することを可能にするために、面内方向および垂直方向に外部磁界を印加可能にするため、電磁石から測定用信号増幅回路まで全て設計から始めた。我々はスキルミオンバブルの生成実験において本顕微鏡を用いて微細加工したマイクロサイズの細線の磁気特性を測定した。

次に、相互結合作用を有する磁性材料にゲート電圧 V_G を印加することによって、スキルミオンバブルの生成及び駆動、そして応用について理論的かつ実験的に検討する。我々はエッジ側にテーパ構造を有する Co-Ni/Pt 多層膜の素子を作製し、電界効果による磁気特性の変化に注目した。素子部にゲート電圧 V_G を印加することにより、磁性素子のテーパ部から磁気特性が大きく変化し、磁壁が磁気異方性の変化によって磁壁が駆動されることが明らかにした。そして、同時に外部磁界の制御により磁壁の付近にバブル状磁区

が発生し磁壁との反発力によって駆動されたと考えられる。更に電界制御によって効率的に高速駆動できることを明らかにした。我々は電界と外部磁界制御によって磁壁付近で発生したバブル状磁区がスキルミオンバブルである可能性について実験と証明を行った。実験や証明に用いたのは界面誘発ジャロシンスキー・守谷相互作用 (DMI) である。本研究では、我々は Co-Ni/Pt 多層膜を作製し、そして垂直方向と面内方向の外部磁界を同時に制御することにより、試料にジャロシンスキー・守谷相互作用を有する事を明らかにした。

また、我々は電界効果による磁気トランジスタの作製を行った。レーストラックメモリでは、外部磁界または電流を印加することによって情報が書き込まれ、磁壁を磁気トンネル接合のようなセンサーまでに移動させることによって読み出される。磁壁移動を誘起するために内部のピンニングを克服しなければならない、したがって外部磁場または電流のような外力が必要とされる。我々は磁気異方性を変化させるために試料にゲート電圧 V_G 印加を提案する。この現象により低消費エネルギーで磁壁移動を制御することができる。我々は前述したようなエッジ側にテーパー構造を有する試料を用いず、表面がフラットな試料を用いた。試料にゲート電圧 V_G 印加により垂直磁気異方が変化することはすでに前述した実験で成功したが、この実験においてはレーストラックの各部分の磁気特性は回路の特性によりそれぞれ異なることを確認した。ゲート電圧 V_G を印加することで磁壁移動速度 v を高め、閾値電流密度 J_{th} を減少させることを確認した。また、本実験はゲート電圧の印加によって保磁力 H_c が低下し、臨界ピンニング磁界を減少させることも見出し、作製した素子は磁壁トランジスタとして動作することを示す。